

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>7</sup> :

G01J 3/453, 9/02

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/62026

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum:

19. Oktober 2000 (19.10.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/03145

(22) Internationales Anmeldedatum: 7. April 2000 (07.04.00)

(30) Prioritätsdaten:

199 16 072.4	9. April 1999 (09.04.99)	DE
199 22 783.7	18. Mai 1999 (18.05.99)	DE
199 33 290.8	15. Juli 1999 (15.07.99)	DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): CAM-  
PUS TECHNOLOGIES AG [CH/CH]; Baarer Strasse 112,  
CH-6300 Zug (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WEITZEL, Thilo [DE/DE];  
Hirschauerstrasse 1, D-72070 Tübingen (DE).

(74) Anwälte: GOSSEL, Hans, Karl usw.; Widenmayerstrasse 23,  
D-80538 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE,  
CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE).

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR OPTICAL SPECTROSCOPY

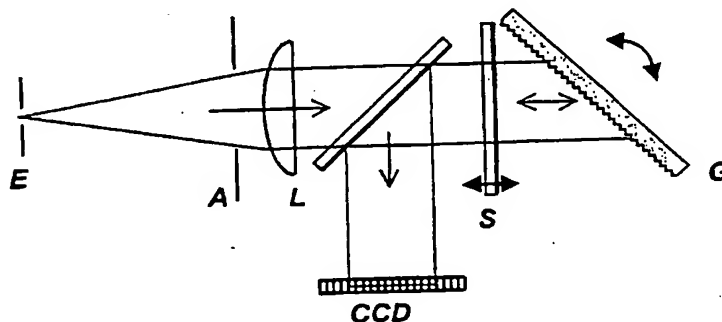
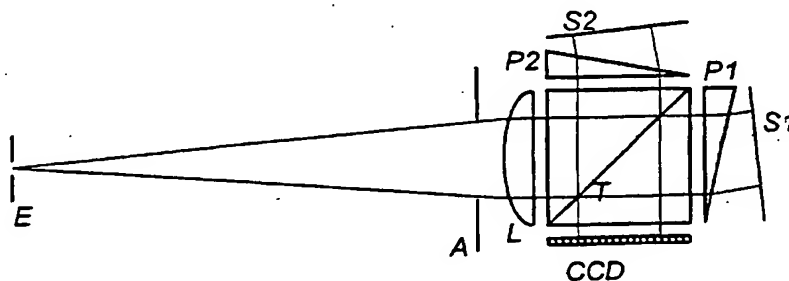
(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR OPTISCHEN SPEKTROSKOPIE

(57) Abstract

The invention relates to a device for optical spectroscopy with means for generating an interference pattern and with a spatially resolving detector that can receive the generated interference pattern. According to the invention, the wave fronts of at least one component beam being involved in the interference pattern are influenced by spectrally dispersive or diffractive optical elements according to the wavelength.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur optischen Spektroskopie mit Mitteln zur Erzeugung eines Interferenzmusters und einem räumlich auflösenden Detektor, der das erzeugte Interferenzmuster aufnehmen kann. Erfindungsgemäss werden die Wellenfronten mindestens eines der am Interferenzmuster beteiligten Teilstrahlen abhängig von der Wellenlänge durch spektral dispersive bzw. diffraktive optische Elemente beeinflusst.



# **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Letland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshon	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland			TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	ML	Mali	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MN	Mongolei	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MR	Mauretanien	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MW	Malawi	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	MX	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CG	Kongo	KE	Kenia	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CM	Kamerun			PL	Polen		
CN	China	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CU	Kuba	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
DE	Deutschland	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DK	Dänemark	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
EE	Estland	LR	Liberia	SG	Singapur		

---

## Vorrichtung und Verfahren zur optischen Spektroskopie

---

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtungen und Verfahren zur optischen Spektroskopie.

Optische Spektrometer können eingeteilt werden in dispersive bzw. diffraktive Spektrometer und Fourier-Transform-Spektrometer.

Dispersive (aus Prismen-) bzw. diffraktive (Gitter-) Spektrometer zerlegen den einfallenden Lichtstrahl durch die Wellenlängenabhängigkeit eines Beugungs- bzw. Reflexionswinkels in seine spektralen Komponenten. Die verschiedenen spektralen Komponenten werden dadurch räumlich getrennt und die zu bestimmenden spektrale Komponente kann selektiert werden (Monochromator). Die Aufnahme eines Spektrums erfolgt dann mit Hilfe beweglicher Teile, indem die verschiedenen spektralen Komponenten nacheinander selektiert und gemessen werden.

Am gebräuchlichsten sind Monochromatoren mit einem Strahlengang nach Czerny-Turner, d.h. mit einem drehbaren Plangitter zwischen einem Eintritts- und einem Austritts-Spalt und voneinander unabhängigen Kollimator- bzw. Kollektor-Spiegeln.

Die Entwicklung ortsauflösender Detektoren (CCD, Diodenarray) erlaubt inzwischen die gleichzeitige Messung aller spektralen Komponenten, indem für jede spektrale Komponente ein eigenes Element des Detektors vorgesehen wird. Eine derartige Anordnung kommt ohne bewegliche Teile aus und nutzt das zur Verfügung stehende einfallende Licht wesentlich effizienter.

Moderne Geräte verwenden z.B. ein holographisch optisches Gitter, das einen Eintrittsspalt unmittelbar mit geeigneter spektraler Dispersion auf ein Diodenarray abbilden kann.

Fourier-Transform-Spektrometer basieren auf einem Interferometer, bei dem die Differenz der optischen Weglängen der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen mit hoher Präzision eingestellt werden kann. Aus einer Messung des Interferenzsignals über einen geeigneten Bereich von Weglängendifferenzen kann durch Fourier-Transformation das Spektrum bestimmt werden.

Geräte werden in der Regel nach Art eines Michelson-Interferometers aufgebaut. Technisch anspruchsvoll sind hier aber vor allem die mechanischen Komponenten zur Einstellung der optischen Weglängen durch verschiebbare Spiegel oder kippbare Spiegelpaare. Die mögliche Leistungsfähigkeit dispersiver bzw. diffraktiver Spektrometer ist abhängig von bestimmten Parametern, insbesondere den Abmessungen von Eintritts- bzw. Austrittsspalt, der Brennweite und Apertur der abbildenden Elemente und den Eigenschaften des dispersiven bzw. diffraktiven Elementes selbst. Moderne Geräte erreichen fast diese physikalisch gesetzten Grenzen.

Entsprechend ist die mögliche Leistungsfähigkeit von Fourier-Transform-Spektrometern durch bestimmte Parameter und hier insbesondere durch die Strecke und die Schrittweite für die Variation der optischen Weglängen bestimmt. Die Leistungsfähigkeit von Fourier-Transform-Spektrometern übersteigt bei weitem die Möglichkeit von dispersiven bzw. diffraktiven Spektrometern.

Auch Fourier-Transform-Spektrometer können die physikalischen Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit beinahe erreichen, jedoch ist der technische Aufwand gegebenenfalls sehr hoch. Da Fourier-Transform-Spektrometer auf einem Interferometer basieren, müssen alle optischen Komponenten und insbesondere auch die beweglichen Teile mit einer Präzision von Bruchteilen der zu messenden Wellenlängen gefertigt und positioniert werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Vorrichtung und ein Verfahren zu schaffen, durch welche die Vorteile des Fourier-Transform-Spektrometers nutzbar werden ohne die Verwendung beweglicher Teile bei gleichzeitig wesentlich niedrigeren Ansprüchen an die Qualität der optischen Komponenten und gegebenenfalls deutlich kürzeren Meßzeiten.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe ausgehend von einer interferometrischen Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 durch die hinzutretenden Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1 gelöst.

Vorzugsweise Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den sich an den Hauptanspruch anschließenden Unteransprüchen 2 bis 25. Erfindungsgemäße Verwendungen ergeben sich aus den Ansprüchen 26 bis 28 und ein erfindungsgemäßes Verfahren und bevorzugte Verfahrensvarianten ergeben sich aus den Ansprüchen 29 bis 36.

Die Erfindung umfaßt eine Vorrichtung, die auf einer Kombination dispersiver bzw. diffraktiver optischer Elemente und einem ortsauflösenden Detektor mit einem Interferometer beruht, sowie ein Verfahren, das es erlaubt das Spektrum des einfallenden Lichtes aus einem aufgenommenen Interferenzmuster zu rekonstruieren.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist so ausgelegt, daß sich die Interferenzmuster jeweils verschiedener spektraler Komponenten des zu untersuchenden spektralen Bereichs voneinander unterscheiden. Ein derartiges einer bestimmten spektralen Komponente zugeordnetes Interferenzmuster wird im folgenden als Basismuster bezeichnet. Die Muster können eindimensional oder zweidimensional betrachtet

werden. Ein durch eine erfindungsgemäße Vorrichtung erzeugtes Interferenzmuster wird als Überlagerung einer Reihe von jeweils unterschiedlichen Basismustern betrachtet.

Die Aufnahme des Interferenzmusters erfolgt durch den Detektor an diskreten Positionen. Ein Interferenzmuster liegt also jeweils in Form einer fixen Anzahl von (Meß-) Werten vor. Genauigkeit und darstellbare Raumfrequenzen folgen aus dem Sampling-Theorem.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird ein Interferenzmuster als Reihe von Werten und damit im Kontext der linearen Algebra als Vektor interpretiert oder insbesondere als Element eines diskreten Hilbertraumes der entsprechenden Dimension. Die oben eingeführten Basismuster werden im Kontext der linearen Algebra als linear unabhängige Basisvektoren interpretiert.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf der Möglichkeit, für eine erfindungsgemäße Vorrichtung die jeweils erforderlichen Basismuster entweder rechnerisch oder durch Messung zu bestimmen. Beim erfindungsgemäßen Verfahren kann dann das Spektrum des einfallenden Lichtes durch Zerlegung des Interferenzmusters in diese Basismuster gewonnen werden.

Das Verfahren kann in verschiedenen Varianten realisiert werden:

Unter günstigen Umständen (gutes Signal/Rauschverhältnis, fixe Phasenlage, „spektral dicht“ liegende Basismuster) kann eine direkte Berechnung der Linearkombination unter Benutzung der Inversen der durch die Basismuster gebildeten Matrix erfolgen.

In der Regel und im allgemeinen Fall erfolgt die Zerlegung näherungsweise durch Korrelation der jeweiligen Basismuster mit dem Interferenzmuster. In diesem Fall werden keine hohen Anforderungen an die Basismuster gestellt und es besteht z.B. die Möglichkeit für eine spektrale Komponente mehrere Basismuster bei unterschiedlichen Phasenlagen zu verwenden.

Im Falle des technisch auf einer völlig unterschiedlichen Richtung basierenden Fourier-Transform-Spektrometers ist das Muster eindimensional und die Basismuster sind die von der jeweiligen Phasenlage abhängigen Summen der Sinus- bzw. Kosinuskomponenten mit einer durch die Wellenlänge der jeweiligen spektralen Komponente eindeutig gegebenen Raumfrequenz. In diesem idealen Fall kann das Spektrum durch eine Fourier-Transformation des gemessenen Interferenzmusters bestimmt werden.

Im Falle des durch eine erfindungsgemäße Vorrichtung erzeugten räumlichen Interferenzmusters sind die Basismuster im allgemeinen nicht sinus- oder kosinusförmig. Sowohl die genaue Art der Basisfunktionen als auch der jeweilige Zusammenhang eines Basismusters mit der Wellenlänge einer spektralen Komponente ist eindeutig definiert durch die Eigenschaften der jeweils konkreten Vorrichtung.

Soweit die Interferenzmuster, d.h. die Basismuster für die in Frage kommenden spektralen Komponenten, im Rahmen der Auflösung und Genauigkeit der Messung linear unabhängig sind, können die jeweiligen spektralen Komponenten des einfallenden Lichtes und damit das Spektrum durch Korrelation der jeweiligen Basismuster mit dem aufgenommenen Interferenzmuster bestimmt werden.

Soweit die Eigenschaften aller Komponenten der Vorrichtung ausreichend präzise bestimmt sind, kann der erforderliche Satz Basismuster berechnet werden.

Besonders interessant ist die Möglichkeit, mit Hilfe einer geeigneten einstellbaren monochromatischen Referenzlichtquelle einen Satz von Basismustern für den jeweiligen konkreten Aufbau der Vorrichtung zu messen. Da die Basismuster in diesem Fall alle Arten von in der jeweiligen Vorrichtung auftretenden optischen Aberrationen bereits enthalten, sind die Ansprüche an die optische Qualität der Komponenten der Vorrichtung relativ gering, soweit die Basismuster linear unabhängig bleiben.

Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann das Interferenzmuster durch Teilung der Amplitude des einfallenden Lichtstrahls mit Hilfe eines halbdurchlässigen Spiegels oder eines geeigneten Gitters (gegebenenfalls in mehr als zwei Teilstrahlen) und anschließender Überlagerung der Strahlen am Ort des Detektors erzeugt werden. Hier kommen alle klassischen Interferometer in Frage, die gegebenenfalls durch dispersive oder diffraktive Elemente ergänzt werden, beispielsweise: Michelson-, Mach-Zehnder-, Sagnac-, -Fabry-Perot oder Scherungs-Interferometer. Weiterhin kommt jede Anordnung, die Interferenzmuster mit räumlichen Perioden erzeugt, die der jeweilige Detektor auflösen kann, in Frage. Durch geeignete Dimensionierung der Vorrichtung können die am Detektor auftretenden Raumfrequenzen unabhängig vom jeweils zu untersuchenden Wellenlängenbereich gewählt werden.

Weiterhin kommt auch die Erzeugung der Teilstrahlen durch Teilung der Wellenfront in Frage, etwa durch ein Fresnellsches Biprisma, andere Kombinationen mehrerer Prismen, mit Hilfe unregelmäßig geformter Oberflächen oder ebenfalls mit Hilfe diffraktiver Elemente.

Die erforderliche spektrale Dispersion kann in allen Fällen durch geeignete Ausführung des Strahlteilers selbst oder durch zusätzliche optische Elemente eingebracht werden.

Als räumlich auflösender Detektor bietet sich im eindimensionalen Fall ein geeignetes Diodenarray oder eine CCD-Zeile an. Es ist auch möglich, zu scannen, d.h. entweder durch Bewegung des Detektors oder anderer Komponenten der Vorrichtung, die verschiedenen Meßpunkte nacheinander aufzunehmen. Dieses Verfahren bietet sich besonders an für extrem hochauflösende Messungen (z.B. Scannen eines Diodenarrays senkrecht zu seiner Ausdehnung) oder in Wellenlängenbereichen für die keine geeigneten ortsauflösenden Detektoren verfügbar sind.

Besonders interessant ist die Verwendung zweidimensionaler Detektoren (CCD oder andere), da in diesem Fall mit der Erhöhung der Anzahl der Meßwerte erheblich größerer Spielraum für die Eigenschaften der Basisfunktionen besteht und bei



„besser“ linear unabhängigen Funktionen die jeweiligen Korrelationen entsprechend schärfer berechnet werden können.

Die Leistungsfähigkeit der Vorrichtung und des im folgenden beschriebenen Verfahrens kann wesentlich verbessert werden, wenn die relative Phasenlage der Teilstrahlen geeignet beeinflusst werden kann. Dies kann geschehen etwa durch die Verwendung eines über eine Strecke in der Größenordnung der Wellenlänge linear verschiebbaren Spiegels, durch den die relative Phasenlage des reflektierten Lichtes mit großer Genauigkeit verändert werden kann oder z.B. im Falle eines Aufbaus nach Art eines Scherungs-Interferometers oder z.B. im Falle eines Gitters mit mehreren Raumfrequenzkomponenten als Strahlteiler durch eine geeignete „seitliche“ Verschiebung der Komponenten.

Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung werden anhand von in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen und Vergleichsdiagrammen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine Variante einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Erzeugung des Interferenzmusters ausgehend von einem Aufbau nach Art eines Michelson-Interferometers. Als Detektor dient ein CCD, während die dispersiven Elemente als Prismen ausgeführt sind. Der Aufbau kommt abgesehen von der Justierung ohne bewegliche Elemente aus. Das durch die Eintrittsöffnung **E** und eine Aperturblende **A** einfallende Licht wird durch eine Linse **L** zunächst kollimiert und dann durch den Strahlteiler **T** geteilt. Die Teilstrahlen werden durch die Spiegel **S1** bzw. **S2** reflektiert, durch **T** wieder vereinigt und erreichen den ortsauflösenden Detektor **CCD**. Die Teilstrahlen passieren dabei zweimal das jeweilige Prisma **P1** bzw. **P2** und werden dabei abhängig von der Wellenlänge beeinflusst. Das am Detektor resultierende Interferenzmuster zeigt daher starke Abhängigkeit von der Wellenlänge des einfallenden Lichtes.

Abhängig von der Dimensionierung und der Justierung der Vorrichtung können verschiedene Spektralbereiche bei verschiedenen Auflösungen erfaßt werden.

Wird einer der Spiegel, etwa durch Montage auf einem piezomechanischen Aktuator, entlang der optischen Achse mit einer Wellenlänge im Bereich der Wellenlänge beweglich gestaltet, kann die relative Phasenlage der zur Interferenz beitragenden Teilstrahlen beliebig eingestellt werden.

Eine weitere Variante einer erfindungsgemäßen Vorrichtung verwendet ein Prisma oder ein beliebiges anderes spektral-dispersives oder diffraktives Element sowie als Strahlteiler ein weiteres Prisma mit halb durchlässig verspiegelten Oberflächen. Die Fig. 2 zeigt eine derartige Vorrichtung, die völlig ohne bewegliche Elemente auskommt.

Das durch die Eintrittsöffnung **E** und eine Aperturblende **A** einfallende Licht wird durch eine Linse **L** zunächst kollimiert und passiert das Prisma **P1**. Die Oberflächen des Prismas **P2** sind halb durchlässig verspiegelt. Am Detektor **CCD** entsteht ein Interferenzmuster, da ein Teil des einfallenden Lichtes direkt den Detektor erreicht, ein anderer Teil des Lichtes erst nach zweimaliger Reflexion im Prisma **P2**. Weitere mehrfach reflektierte Teilstrahlen tragen ebenfalls zur Interferenz bei.

Die Fig. 3 zeigt eine einfache weitere Variante einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, die ein Prisma sowohl als dispersives Element als auch als Strahlteiler verwendet. Der Aufbau kommt völlig ohne bewegliche Elemente aus.

Das durch die Eintrittsöffnung **E** und eine Aperturblende **A** einfallende Licht wird durch eine Linse **L** zunächst eliminiert und erreicht das Prisma **P**. Die Oberflächen des Prismas sind halb durchlässig verspiegelt. Am Detektor **CCD** entsteht ein Interferenzmuster, da ein Teil des einfallenden Lichtes direkt den Detektor erreicht, ein anderer Teil des Lichtes erst nach zweimaliger Reflexion im Prisma **P**. Weitere mehrfache reflektierte Teilstrahlen tragen ebenfalls zur Interferenz bei.

Eine ähnliche Variante mit einem geeignet dicken Prisma (Fig. 4) eignet sich besonders gut für die Aufnahme von Linienspektren.

Zur Interferenz tragen in diesem Fall nur Anteile des einfallenden Lichtes mit ausreichend hoher Kohärenzlänge, d.h. entsprechend mit sehr kleiner Linienbreite bei.

Besonders vorteilhaft ist eine Kombination der beiden vorgenannten Varianten, das bedeutet, auf einem einzelnen **CCD** nebeneinander mehrere Prismen unterschiedener Dicke und/oder Steigung zu montieren.

Die Fig. 5 zeigt eine andere Variante der Vorrichtung auf Basis eines Scherungs-Interferometers.

Das durch die Eintrittsöffnung **E** und eine Aperturblende **A** einfallende Licht wird durch eine Linse **L1** zunächst abgebildet auf eine Kombination aus Prisma und Gitter **GRISM**. Das Gitter trägt zwei Komponenten von Raumfrequenzen, so daß die über die Linse **L2** auf dem Detektor abgebildete erste Beugungsordnung entsprechend aus zwei unter leicht unterschiedlichem Winkel gebeugten Komponenten besteht. Das Gitter wirkt so als Strahlteiler und am Detektor entsteht ein Interferenzmuster, das wiederum stark von der Wellenlänge des einfallenden Lichtes abhängt.

Wird das Gitter bzw. **GRISM** durch Montage auf einem geeigneten Aktuator derart montiert, daß es quer zur optischen Achse beweglich ist, kann die relative Phasenlage der zur Interferenz beitragenden Teilstrahlen beliebig eingestellt werden.

Die dargestellten interferometrischen Vorrichtungen können derart ausgeführt oder weitergebildet werden, daß ein optischer Resonator entsteht. Dies hat zur Folge, daß die Vorrichtungen oder Teile der Vorrichtungen mehrfach genutzt werden und die resultierenden Interferenzen durch Überlagerung mehrerer, gegebenenfalls sehr vieler Teilstrahlen gebildet werden. Eine derartige Überlagerung vieler Teilstrahlen zeigt, verglichen mit der entsprechenden Zweistrahl-Interferenz, gegebenenfalls sehr viel schärfere Minima bzw. Maxima der Intensität.

Bei geeigneter Bearbeitung der jeweiligen Meßwerte kann so eine entsprechend höhere Genauigkeit bzw. spektrale Auflösung erreicht werden.

Die technische Ausführung des Resonators ist dabei von untergeordneter Bedeutung. Neben einfachen Resonatoren mit nur zwei Bauelementen (Fig. 6) kommen alle Arten von Resonatoren insbesondere auch Ring-Kavitäten in Frage.

Besonders vorteilhaft sind Ausführungen bei denen mindestens ein Element des Resonators als wellenlängenabhängiges Element ausgeführt ist oder bei denen sich ein wellenlängenabhängiges Element im Inneren des Resonators befindet (oder beides).

Die Funktionsweise wird dargestellt anhand von Fig. 6:

Der Strahlteiler wird gebildet durch einen halbdurchlässigen Spiegel **S**, der einen Teil des Lichtes reflektiert. Das wellenlängenabhängige Element ist im Beispiel als Gitter **G** ausgeführt und derart dimensioniert und angeordnet (Winkel  $\varphi$ ), daß Licht einer bestimmten Wellenlänge  $\lambda$  zum Spiegel **S** zurück reflektiert wird [Gitterkonstante =  $\lambda/(2\sin(\varphi))$ ]. Der dort transmittierte Teil interferiert mit dem vom Spiegel ursprünglich reflektierten Licht.

Abhängig von der Effizienz des Gitters und den Reflexions- bzw. Transmissionskoeffizienten des Spiegels treten mehrfach reflektierte Strahlen unterschiedlicher Intensität auf, welche die resultierenden Interferenzmuster in der oben dargestellten Weise beeinflussen. Die relative Phasenlage der Teilstrahlen kann durch geeignete Verschiebung von **S** beeinflußt werden.

Fig. 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel des vorgenannten Funktionsprinzips. Der Resonator wird durch die Elemente **S1** und **G** gebildet. Die Wellenlänge des Resonators kann durch Drehung des Gitters **G** verändert werden, die relative Phasenlage der Teilstrahlen kann durch geeignete Verschiebung von **S1** beeinflußt werden. Über einen zweiten Strahlteiler **S2** wird das Interferenzmuster zum ortsauflösenden Detektor **CCD** geführt. Mit **E** ist die Eintrittsblende und mit **A** die Aperturblende bezeichnet. **L** ist ein Kollimator.

Fig. 8 zeigt ein besonders vorteilhaftes Ausführungsbeispiel. Hier wird die 0-te Beugungsordnung des Gitters, d.h. der ungebeugt reflektierte Teil des Lichtes zum ortsauflösenden Detektor (**CCD**) geführt.

Soweit auf eine Kontrolle der relativen Phasenlage verzichtet werden kann, bildet eine Ausführung nach Fig. 9 eine vorteilhafte Anordnung. Hier sind Gitter **G** und Spiegel **S** auf einem im Querschnitt ein Dreieck bildenden Glasträger angeordnet (Fig. 4).

Besonders vorteilhaft kann es sein, das Beugungsgitter **G** in Segmente unterschiedlicher Gitterkonstanten zu unterteilen (Fig. 10), oder Beugungsstrukturen zu verwenden, die nicht periodisch sind.

In einer weiteren Ausführung (Fig. 11) wird die optische Weglänge **d** absichtlich vergrößert und wahlweise variabel gehalten. Die Interferenzen werden dann auf Komponenten des einfallenden Lichtes mit entsprechend hoher Kohärenzlänge bzw. kleiner Bandbreite begrenzt (abhängig von der Weglänge **d**).

Bei geeigneter Auswertung der Meßwerte abhängig von **d** können, insbesondere bei hoher Effizienz des Gitters **G** und hohem Reflexionskoeffizienten von **S** sehr hohe spektrale Auflösungen erzielt werden.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die Vorrichtung Mittel zur Variation der Weglängendifferenz der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen auf, wodurch eine Selektion der zur Interferenz beitragenden Lichtkomponenten entsprechend ihren Kohärenzeigenschaften durchführbar ist.

Die dargestellten interferometrischen Vorrichtungen können derart ausgeführt oder weitergebildet werden, daß die optischen Weglängen, unter denen die Teilstrahlen zur Interferenz gebracht werden, über ein durch das oder die dispersiven Elemente eingebrachtes Maß hinaus differieren.

Am Beispiel der in Fig. 12 gezeigten Anordnung lassen sich die Verhältnisse darstellen wie folgt:

Die Differenz der optischen Weglängen der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen liegt zwischen  $2 \cdot d_1$  und  $2 \cdot d_2$ . Eine Wegstrecke  $2 \cdot (d_2 - d_1)$  wird vom optischen Gitter für die spektrale Selektion verwendet. Die dieser Differenz entsprechende Kohärenzlänge definiert die spektrale Auflösung der Apparatur. Darüber hinaus wird nur dann ein Interferenzsignal erzeugt, wenn die einfallende Strahlung im Bereich der optischen Weglängendifferenzen zwischen  $2 \cdot d_1$  und  $2 \cdot d_2$  Kohärenzeigenschaften bzw. Autokorrelationseigenschaften zeigt.

Bei einer Anwendung im Bereich der optischen Spektroskopie können auf diese Weise selektiv Linienspektren aufgenommen werden. In diesem Fall tragen nur spektral schmalbandige Komponenten der einfallenden Strahlung mit Kohärenzlängen größer als  $2 \cdot d_1$  zum gemessenen Signal bei.

Bei einer Anwendung im Bereich der optischen Datenübertragung können selektiv Träger mit Autokorrelationseigenschaften im Bereich zwischen  $2 \cdot d_1$  und  $2 \cdot d_2$  aufgenommen bzw. vermessen werden. Dies ist insbesondere interessant für eine Anwendung im Bereich des Kohärenzlängen-Multiplexing.

Für beide Anwendungsbereiche besteht der besondere Vorteil der Anordnung darin, daß die spektrale Auflösung (Spektroskopie) bzw. Bandbreite (Datenübertragung) unabhängig von der zu selektierenden Linienbreite (Spektroskopie) bzw. Autokorrelationslänge (Datenübertragung) eingestellt werden kann.

Eine weitere erfindungsgemäße Ausgestaltung sieht vor, daß die Vorrichtung Mittel zur Drehung des Interferometers bzw. Mittel zur Veränderung oder Auswahl des Einfallswinkels aufweist, welche eine Einstellung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters ermöglichen.

Der Wellenlängenbereich, den die Anordnung ohne bewegliche Teile erfassen kann, ist gegeben durch die Fähigkeit des Detektors, die entsprechenden Raumfre-

quenzen im Interferenzmuster nachzuweisen. Von besonderem Vorteil für eine technische Realisierung der Anordnung kann es sein, die Auswahl eines Wellenlängenbereichs d.h. in diesem Fall die Einstellung des Interferometers dergestalt, daß die für diesen Wellenlängenbereich resultierenden Raumfrequenzen vom Detektor erfaßt werden können, durch eine Drehung des Interferometers als Ganzes bzw. durch eine geeignete Veränderung des Einfallswinkels zu erreichen. Für diese Bauform kommt das Interferometer selbst – abgesehen von den gegebenenfalls erforderlichen Mitteln zur Phasenmodulation – ohne bewegliche Elemente aus und kann trotzdem für verschiedene Wellenlängenbereiche eingesetzt werden.

In diesem Fall können die Komponenten des Interferometers gegeneinander fixiert werden, was sich vorteilhaft auf die Stabilität der Justierung auswirkt. Voraussetzung für die Wellenlängenabstimmung über den Einfallswinkel ist, daß der Winkel, unter dem die Teilstrahlen im Interferometer überlagert werden eine geeignete Abhängigkeit vom Einfallswinkel zeigt. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn die Teilstrahlen spiegelbildlich überlagert werden, d.h. die Teilstrahlen müssen in einem diesbezüglich asymmetrischen Interferometer über eine jeweils um 1 verschiedene Anzahl von Spiegeln geführt werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann diese Situation bei symmetrischen Interferometern durch Einsatz eines Retroreflektors erreicht werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, daß die Vorrichtung Mittel zur Lageveränderung von Bauelementen, insbesondere Mittel zur Drehung der Bauelemente aufweist, welche eine Einstellung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters ermöglichen.

Eine einfache Möglichkeit, einen Wellenlängenbereich auszuwählen, d.h. in diesem Fall die Einstellung des Interferometers so vorzunehmen, daß die für diesen Wellenlängenbereich resultierenden Raumfrequenzen vom Detektor erfaßt werden können, sind Mittel, welche es erlauben, den Winkel zu verändern, unter dem die Teilstrahlen zur Interferenz gebracht werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Veränderung der relativen Phasenlage der interferierenden Teilstrahlen und die Veränderung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters gemeinsam durch Bewegung mindestens eines Bauelements der Vorrichtung.

Es ist vorteilhaft, Messungen bei unterschiedlichen relativen Phasenlage der Teilstrahlen vorzunehmen. Sind die optischen Weglängen der Teilstrahlen ungleich und/oder führt die Verkipfung der optischen Elemente zu einer Veränderung der Differenz der optischen Weglängen der Teilstrahlen, dann ändert sich bei der Einstellung der Wellenlänge auch die relative Phasenlage des Interferenzmusters. Dieser Effekt kann unmittelbar zur Messung bei verschiedenen Phasenlagen genutzt werden. Dies ist für eine technische Ausführung besonders vorteilhaft, da ein separater Mechanismus für die Modulation der Phasenlage dann entfallen kann.

Fig. 13 zeigt ein Beispiel für eine Bauform des Interferometers, welche die spektrale Selektion und die Modulation der relativen Phasenlage durch eine gemeinsame Bewegung erlaubt. Die Drehung eines der optischen Elemente um einen Stützpunkt P außerhalb des Strahlengangs bewirkt neben der Veränderung des Winkels und damit der Einstellung der selektierten Wellenlänge gleichzeitig eine Veränderung der optischen Weglänge und damit eine Modulation der relativen Phasenlage.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist das spektral dispersive bzw. diffraktive Element ein Multiplex-Gitter, ein Multiplex-Hologramm, ein holografisch-optisches Element oder ein computergeneriertes Hologramm (CGH).

Bei Verwendung eines zweidimensional auflösenden Detektors kann es besonders vorteilhaft sein, spektral dispersive Elemente zu verwenden, welche nicht nur eine einfache Ablenkung des jeweiligen Teilstrahls bewirken. Insbesondere im Zusammenhang mit den dargestellten Korrelationsverfahren erscheint die Erzeugung komplizierterer Interferenzmuster vorteilhaft. Derart komplexe Muster



zeigen gegebenenfalls ein schärfer definiertes Korrelationssignal als einfache Streifenmuster.

Eine technisch besonders einfache Anordnung verwendet ein spektral dispersives bzw. diffraktives opt. Element, das gleichzeitig als Strahlteiler verwendet wird und unmittelbar ein Interferenzmuster am Ort des Detektors erzeugt. Fig. 14 zeigt eine derartige Anordnung unter Verwendung eines diffraktiven optischen Elements in Transmission. Der transmittierte ungebeugte Teilstrahl interferiert mit einer Vielzahl in unterschiedlichen Richtungen gebeugten Teilstrahlen, welche ihrerseits untereinander interferieren, und erzeugt so ein kompliziertes Interferenzmuster („speckle pattern“). Der gleiche Effekt kann erzielt werden durch einen in den Strahl eingebrachten Glaskörper mit unregelmäßiger Oberfläche.

Diese sehr einfache Anordnung ist besonders geeignet für die Verwendung von sehr „unregelmäßigen“ spektral dispersiven bzw. diffraktiven optischen Elementen.

Handelt es sich um ein eher regelmäßiges optisches Element, insbesondere um ein halb durchlässig verspiegeltes Prisma oder ein Beugungsgitter, so kann es technisch vorteilhaft sein, die resultierenden Teilstrahlen durch genau dieses oder ein gleichartiges optisches Element wieder zu überlagern, um das Interferenzmuster zu erzeugen.

Eine technisch ganz besonders vorteilhafte Anordnung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zeigt Fig. 15. In diesem Fall wird ein Beugungsgitter in Reflexion verwendet. Der über die Eintrittsöffnung „E“, die Aperturblende „A“ und die Kollimationslinse „L“ einfallende Lichtstrahl wird zunächst am Beugungsgitter in einen reflektierten und einen gebeugten Teilstrahl geteilt. In der dargestellten Geometrie erfolgt die Beugung erster Ordnung unter einem relativ großen Winkel, so daß keine höheren Beugungsordnungen auftreten.

Der zunächst gebeugte Teilstrahl wird durch den Spiegel S1 zurück gespiegelt und vom Beugungsgitter weiter zum Detektor reflektiert, während der zunächst reflektierte Teilstrahl durch den Spiegel S2 zurück gespiegelt und weiter zum Detektor gebeugt wird. Am Detektor entsteht das benötigte Interferenzmuster.

Über S2 kann gegebenenfalls die Modulation der Phasenlage erfolgen („Phasenschieber“), über S1 kann gegebenenfalls der Winkel unter dem die vereinigten Strahlen interferieren justiert werden.

Neben dem außerordentlich kompakten Aufbau zeigt die Anordnung weitere Vorteile:

Bei Verwendung eines periodischen Beugungsgitters liegen (im Gegensatz zu einem normalen Fourier-Transform-Spektrum !) die Positionen gleicher optischer Weglänge und damit maximaler Amplitude bzw. Modulation für die verschiedenen Wellenlängen an unterschiedlichen Stellen des Detektors. Dies wirkt sich günstig auf den erforderlichen dynamischen Bereich der Detektorelemente aus.

Für spezielle Anwendungen, etwa in der Chemometrie der Nachweis einer Substanz durch die Bestimmung spektraler „Fingerprints“ in bestimmten Bereichen eines Absorptionsspektrums, oder die gleichzeitige Bestimmung bestimmter spektraler Linien, können – wie auch in den anderen erfindungsgemäßen Anordnungen – spezielle Beugungsgitter verwendet werden. Neben räumlich getrennten oder räumlich überlagerten Mehrfachgittern und gegebenenfalls einer Anordnung mit mehreren Detektoren, kommen hier auch holographische Elemente in Betracht, die z.B. ganze Gruppen von unterschiedlichen Spektrallinien unter dem gleichen Winkel beugen können. Diese Variante kann besonders günstig sein bei Verwendung eines Detektors, der eine Maske zur Erkennung von Mustern verwendet (optisches Korrelationsverfahren).

Die für eine Messung erforderliche Korrelation eines gemessenen Interferenzmusters mit dem für eine bestimmte spektrale Komponente oder eine Gruppe spektraler Komponenten bekannten Interferenzmuster kann sehr vorteilhaft unmittelbar optisch mit Hilfe einer Maske und ggf. geeigneter Phasenmodulation oder anderweitiger Verstimmung des Interferometers erfolgen.

Insbesondere können in einer einzelnen Maske bereits die Interferenzmuster eines spektralen Fingerprints mit vielen spektralen Komponenten enthalten sein.

Die mehrfache Aufnahme des Interferenzmusters durch die dem Detektor vorgelagerte Maske hindurch bei unterschiedlichen relativen Phasenlagen der Teilstrahlen zeigt eine starke Abhängigkeit der jeweils gemessenen integrierten gesamten Intensität des Signals von der relativen Phasenlage nur für diejenigen spektralen

Komponenten des einfallenden Lichtes mit deren resultierenden Interferenzmustern die Maske korreliert. Fig. 16 zeigt eine entsprechende Variante der Anordnung am Beispiel der Anordnung aus Fig. 15.

Bei Verwendung von perfekten optischen Elementen und einer ausreichend kleinen Lichtquelle bzw. Lichteintrittsfläche kann das optische Spektrum durch Fourier-Transformation des Interferenzmusters gewonnen werden.

Bei Verwendung nicht ganz perfekter optischer Elemente oder größerer Eintrittsblenden und insbesondere bei Verwendung zusätzlicher dispersiver Elemente, welche die Wellenfronten abhängig von Ort und Wellenlänge beeinflussen, können die resultierenden Interferenzmuster nicht durch Sinus- oder Kosinus-Funktionen dargestellt werden. Gleichwohl können die einzelnen spektralen Komponenten anhand des dann vorliegenden Interferenzmusters durch Korrelation bestimmt werden, sofern die jeweils durch eine einzelne der zu untersuchenden spektralen Komponente erzeugten Basismuster eindeutig sind.

Dieses Verfahren ist damit auch geeignet für die dargestellten Vorrichtungen, die sehr „unregelmäßige“ spektral disperse bzw. diffraktive optische Elemente verwenden.

Besonders günstig ist es, die erforderlichen Interferenzmuster für die einzelnen spektralen Komponenten durch eine Messung mit anschließender Renormierung zu gewinnen.

Besonders günstig ist es weiterhin, die Aufnahme des Interferenzmusters bei verschiedenen relativen Phasenlagen vorzunehmen. Neben dem günstigen Einfluß auf das Signal/Rausch-Verhältnis werden dadurch gegebenenfalls Artefakte des Meßvorgangs eliminiert.

Insbesondere bei der Messung der Interferenzmuster der einzelnen spektralen Komponenten (Basisfunktionen) kann die Messung bei verschiedenen relativen Phasenlagen hilfreich sein. Es werden bei Subtraktionen gegenphasig aufgenom-

mener Interferenzmuster die Signalanteile addiert, jedoch konstanter Hintergrund und Artefakte des Meßvorganges weitgehend eliminiert.

Vorteilhafterweise wird ein optisches Spektrum unter Verwendung der bisher beschriebenen Vorrichtung nach einem Verfahren berechnet, welches folgende Schritte umfaßt: Zunächst werden mehrere Interferenzmuster für verschiedene relative Phasenlagen der interferierenden Teilstrahlen aufgezeichnet. In einem weiteren Schritt wird ein hochaufgelöstes Interferenzmuster oder hochaufgelöste Komponenten eines Interferenzmusters berechnet, wobei die unterschiedlich ausgeprägte Phasenverschiebung der zur Interferenz beitragenden spektralen Komponenten der Teilstrahlen berücksichtigt wird.

Eine Vorrichtung mit einem Array-Detektor etwa gemäß Fig. 17 erlaubt Verfahren, die mit Hilfe einer Veränderung der relativen Phasenlage der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen das resultierende Interferenzmuster derart am Detektor bewegen oder verändern, daß durch mehrere Messungen bei unterschiedlichen Phasenlagen die Ortsauflösung erhöht wird, mit der das Interferenzmuster gemessen wird. Die durch die Veränderung der Phasenlage erzeugte scheinbare Bewegung der verschiedenen Komponenten des Interferenzmusters erlaubt es, mit den einzelnen Elementen des Detektors schrittweise jeweils einen bestimmten Bereich des Interferenzmusters mit hoher Auflösung zu erfassen. Zu beachten ist dabei, daß die sehr kleinen Veränderung der optischen Weglängen, wie sie durch die Mittel zur Einstellung der relativen Phasenlage der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen erzeugt werden, makroskopische „Verschiebungen“ des Interferenzmusters bewirken können und, daß sich dabei die verschiedenen spektralen Komponenten des Interferenzmusters unterschiedlich stark, gegebenenfalls sogar in unterschiedlichen Richtungen, bewegen.

Die erfindungsgemäßen Vorrichtungen werden als Spektrometer nutzbar durch das erfindungsgemäße Verfahren. Das Interferenzmuster einer spektralen Komponente hat in einem idealen Interferometer eine eindimensionale sinusoidale Modulation der Intensität mit einer Raumfrequenz die nur von der Wellenlänge des einfallenden Lichtes abhängt. Die jeweiligen Anteile verschiedener spektraler Komponenten

können in diesem Fall durch Fourier-Transformation des Interferenzmusters gewonnen werden.

Ein reales Spektrometer und insbesondere die verschiedenen Varianten erfindungsgemäßer Vorrichtungen zeigen komplexere Interferenzmuster. Die spektralen Komponenten können mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens bestimmt werden.

Fig. 18 zeigt simulierte Aufnahmen von Interferogrammen durch ein CCD, links die Messung eines „idealen“ Interferogramms, rechts eine realistische Simulation ausgehend von nicht perfekten optischen Elementen.

Die optischen Elemente einer erfindungsgemäßen Vorrichtung müssen für die Anwendbarkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht den Ansprüchen genügen, die in der Regel an Bauelemente optischer Interferometer gestellt werden.

Die Fig. 19 bis 21 verdeutlichen die Vorteile des neuen Verfahrens anhand einer numerischen Simulation für einen linear ortsauflösenden Detektor mit 512 Elementen. Die Abbildungsteile A zeigen jeweils die Differenzen der optischen Weglängen von zwei zur Interferenz beitragenden Teilstrahlen abhängig von der Position des jeweiligen Elementes des Detektors. Die Abbildungsteile B zeigen jeweils einen Ausschnitt des vom Detektor aufgenommenen Signals. Die Abbildungsteile C und D zeigen jeweils das rekonstruierte Spektrum einer monochromatischen Quelle. Im Abbildungsteil C als Vergleich bestimmt durch Fourier-Transformation, im Abbildungsteil D bestimmt durch das erfindungsgemäße Verfahren. Die Abbildungsteile C und D zeigen das rekonstruierte Spektrum (dicke Linie) jeweils zusätzlich auch zehnfach überhöht (dünne Linie).

Fig. 19 zeigt zunächst eine Simulation unter Annahme einer absolut perfekten optischen Vorrichtung, d.h. die Differenzen der optischen Weglängen von zwei zur Interferenz beitragenden Teilstrahlen hängen linear mit der Position des jeweiligen Elementes des Detektors zusammen (Fig. 19A). Das Interferenzmuster einer spektralen Komponente ist sinusoidal, das entsprechende gemessene Interferenzmuster

(Fig. 19B) zeigt abhängig von der Raumfrequenz Sampling-Artefakte, gibt aber das Interferenzmuster gut wieder.

Die Situation entspricht in diesem speziellen Fall, obwohl mit einer ganz anderen Vorrichtung aufgenommen, etwa der Messung durch ein Fourier-Transform-Spektrometer. Entsprechend kann das Spektrum durch Fourier-Transformation bestimmt werden (Fig. 19C). Das erfindungsgemäße Verfahren durch Korrelation mit gemessenen Basismustern zeigt das gleiche Ergebnis (Fig. 19D).

Fig. 20 zeigt eine entsprechende Simulation unter Annahme einer nicht ganz perfekten optischen Anordnung. Entsprechend ist der Zusammenhang mit den Differenzen der optischen Weglängen der beteiligten Strahlen und der Position des jeweiligen Elementes des Detektors nicht perfekt linear (Fig. 20A). Das resultierende Interferenzmuster ist nicht mehr genau sinusoidal und zeigt leichte Variationen der Raumfrequenz (Fig. 20B). Der Versuch das Spektrum durch Fourier-Transformation zurückzugewinnen scheitert (Fig. 20C). Das erfindungsgemäße Verfahren ist in der Lage, das Spektrum ohne Qualitätsverlust zu rekonstruieren (Fig. 20D).

Fig. 21 zeigt die entsprechende Simulation unter Annahme grob fehlerhafter optischer Elemente, mit entsprechend zwar noch monotonem, aber nicht mehr linearem Zusammenhang zwischen den Differenzen der optischen Weglängen der beteiligten Strahlen und der Position des jeweiligen Elementes des Detektors (Fig. 21A). Das resultierende Interferenzmuster ist entsprechend unregelmäßig (Fig. 21B). Die Fourier-Transformation führt hier zu keinem Ergebnis (Fig. 21C). Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Spektrum auch in dieser Situation fast ohne Qualitätsverlust rekonstruiert werden (Fig. 21D).

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur optischen Spektroskopie mit Mitteln zur Erzeugung eines Interferenzmusters und einem räumlich auflösenden Detektor, der das erzeugte Interferenzmuster aufnehmen kann,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß durch spektral dispersive bzw. diffraktive optische Elemente die Wellenfronten mindestens eines der am Interferenzmuster beteiligten Teilstrahlen abhängig von der Wellenlänge beeinflußt werden.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch mindestens ein diffraktives optisches Element, das über nicht periodische Beugungsstrukturen verfügt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung eines Interferenzmusters eine Teilung der Amplitude des einfallenden Lichtes bewirken.
4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Erzeugung eines Interferenzmusters eine Teilung der Wellenfront des einfallenden Lichtes bewirken.
5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen räumlich eindimensional auflösenden und/oder scannenden Detektor aufweist.
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen räumlich zweidimensional auflösenden und/oder scannenden Detektor aufweist.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die Strahlteiler die Wellenfront wenigstens eines der Teilstrahlen abhängig von der Wellenlänge beeinflussen.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß optische Elemente die Wellenfront und/oder die optische Weglänge wenigstens eines der Teilstrahlen abhängig von der Wellenlänge beeinflussen.
9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch Mittel, die eine Veränderung bzw. Modulation der Phasenlage (Phasenverschiebung) mindestens eines der Teilstrahlen erlauben.
10. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung oder Teile der Vorrichtung einen optischen Resonator bilden.



11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere wellenlängenabhängige Elemente im Inneren des Resonators angeordnet sind oder mindestens ein Element des Resonators wellenlängenabhängig ausgeführt ist.
12. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung oder Teile der Vorrichtung mehrfach ausgeführt sind.
13. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Differenz der optischen Weglängen der zur Interferenz gebrachten Strahlen verändert werden kann.
14. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung Mittel zur Einstellung der Weglängendifferenz der zur Interferenz gebrachten Teilstrahlen aufweist, wodurch eine Selektion der zur Interferenz beitragenden Lichtkomponenten entsprechend ihren Kohärenzeigenschaften durchführbar ist.
15. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Interferometer einen Retroreflektor umfaßt.
16. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung Mittel zur Drehung des Interferometers bzw. Mittel zur Veränderung oder Auswahl des Einfallswinkels aufweist, welche eine Einstellung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters ermöglichen.
17. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung Mittel zur Lageveränderung von Bauelementen der Vorrichtung, insbesondere Mittel zur Drehung der Bauele-

mente, aufweist, welche eine Einstellung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters ermöglichen.

18. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Veränderung der relativen Phasenlage der interferierenden Teilstrahlen und die Veränderung der Raumfrequenz bzw. der Raumfrequenzen des erzeugten Interferenzmusters gemeinsam durch Bewegung mindestens eines Bauelements der Vorrichtung erfolgt.
19. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das spektral dispersive bzw. diffraktive Element ein Multiplex-Gitter, ein Multiplex-Hologramm, ein Holographisch-Optisches Element oder ein Computergeneriertes Hologramm ist.
20. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das resultierende Interferenzmuster oder Teile des Interferenzmusters eine Vielzahl von Raumfrequenzen umfassen und/oder ein kontinuierliches Spektrum von Raumfrequenzen umfassen.
21. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein diffraktives optisches Element gleichzeitig als Strahlteiler und als Wellenlängendispersives Element verwendet wird.
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das als Strahlteiler verwendete diffraktive optische Element ein Beugungs-Gitter ist und dass die Mittel zur Erzeugung des Interferenzmusters genau dieses oder ein gleichartiges Element zur Rekombination der geteilten Strahlen umfassen.
23. Vorrichtung nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilstrahlen durch ein Beugungsgitter unter verschiedenen Beugungsordnungen und gegebenenfalls einschließlich des ungebeugten bzw. reflektierten Teilstrahls („0-te Ordnung“) erzeugt werden, durch geeignete Mittel zum Beu-

gungsgitter zurückreflektiert werden und dort durch Beugung unterschiedlicher Ordnungen wieder überlagert werden.

24. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Detektor über eine räumliche Maske verfügt, die mit mindestens einem zu erkennenden Interferenzmuster korreliert.
25. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Fähigkeit des Detektors, eine räumliche Modulation zu erkennen, dergestalt realisiert wird, das ein primär nicht ortsauflösender Detektor mit einer geeigneten räumlichen Maske kombiniert wird.
26. Verwendung einer Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche als optisches Spektrometer.
27. Verwendung einer Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche zur optischen Spektroskopie, dadurch gekennzeichnet, daß entsprechend der jeweils eingestellten Weglängendifferenz der interferierenden Teilstrahlen Komponenten des einfallenden Lichts entsprechend ihren Kohärenzlängen bzw. Kohärenzeigenschaften selektiv gemessen werden.
28. Verwendung einer Vorrichtung mit Mitteln zur Erzeugung eines Interferenzmusters und einem räumlich auflösenden Detektor und mit Mitteln, die eine Veränderung der Phasenlage (Phasenverschiebung) mindestens eines der Teilstrahlen erlauben als optisches Spektrometer.
29. Verfahren zur Bestimmung des optischen Spektrums durch Analyse des mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 25 oder unter Verwendung einer Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 26 bis 28 gemessenen Interferenzmusters.

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Fourier-Transformation des Interferenzmusters umfaßt bzw. die Darstellung des Interferenzmusters als Linearkombination von Sinus- und/oder Kosinus-Funktion (z.B. Hartley-Transformation).
31. Verfahren nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung des Spektrums die Zerlegung des Interferenzmusters in einem Satz vorrichtungsabhängiger Basismuster umfaßt, insbesondere die Bestimmung einer spektralen Komponente durch Korrelation des Interferenzmusters mit einem für die jeweilige Vorrichtung und die zu bestimmende spektrale Komponente erstellten Basismusters.
32. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß die zur Bestimmung der spektralen Komponenten erforderlichen Basismuster durch eine Messung gewonnen werden.
33. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 29 bis 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung des Spektrums die Aufnahme verschiedener Interferenzmuster bei verschiedenen relativen Phasenlagen umfaßt.
34. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 29 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung der Basismuster die Aufnahme verschiedener Interferenzmuster bei verschiedenen relativen Phasenlagen umfaßt.
35. Verfahren zur Berechnung eines optischen Spektrums unter Verwendung einer Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 9 bis 25, gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - a) Aufzeichnen mehrerer Interferenzmuster für verschiedene relative Phasenlagen der interferierenden Teilstrahlen;

- b) Berechnen eines hochaufgelösten Interferenzmusters oder hochaufgelöster Komponenten eines Interferenzmusters unter Berücksichtigung der unterschiedlich ausgeprägten Phasenverschiebung der zur Interferenz beitragenden spektralen Komponenten der Teilstrahlen.
36. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 29 bis 34 unter Verwendung eines Verfahrens nach Anspruch 35

Fig. 1

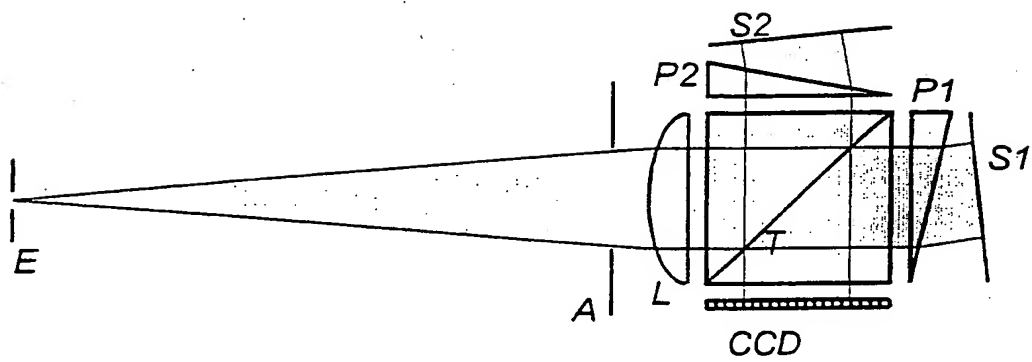


Fig. 2

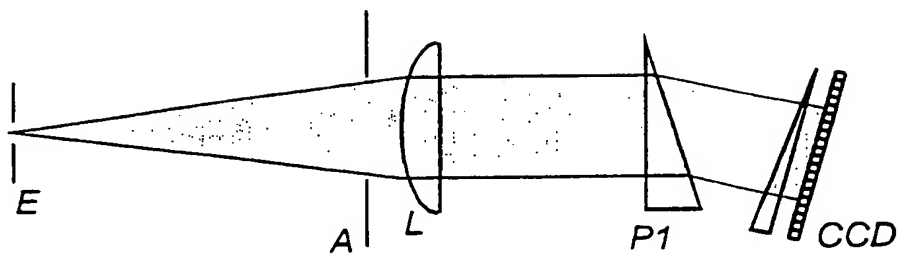


Fig. 3

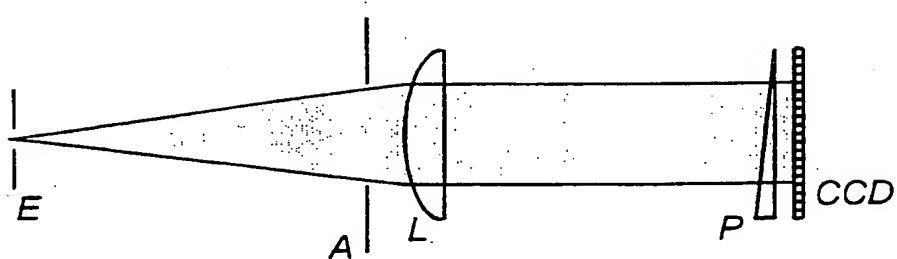




Fig. 4

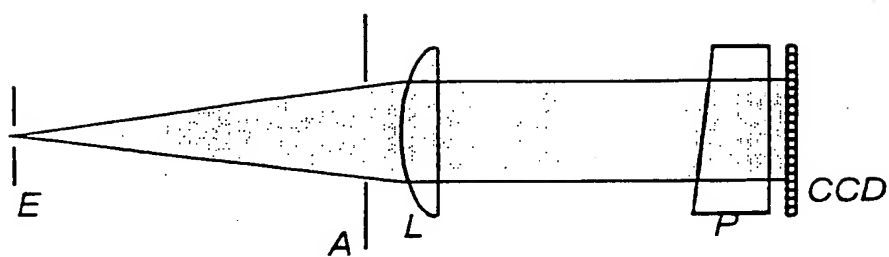


Fig. 5

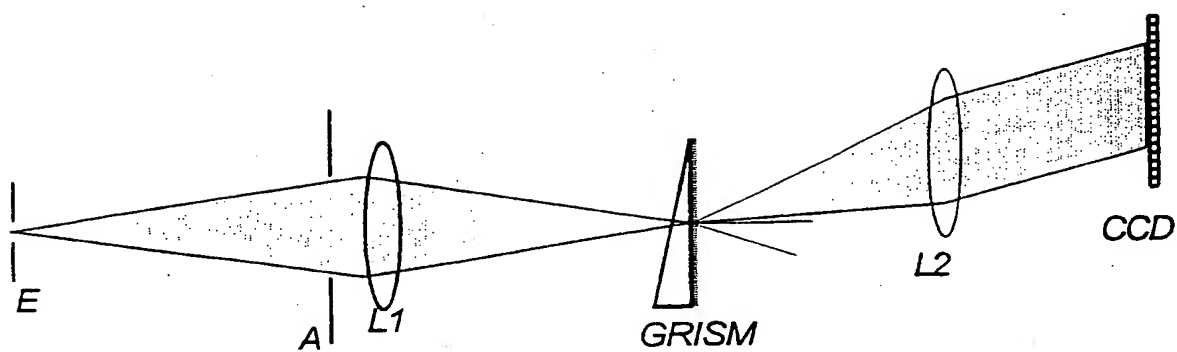


Fig. 6

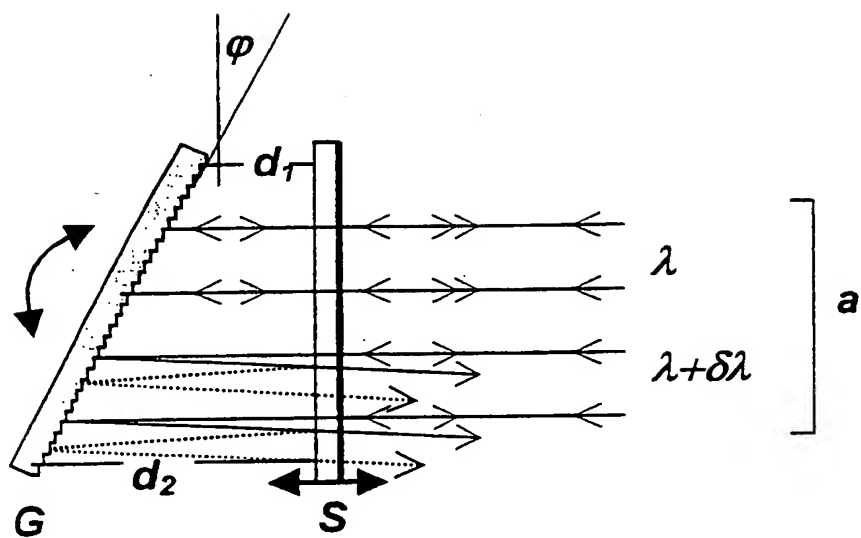


Fig. 7

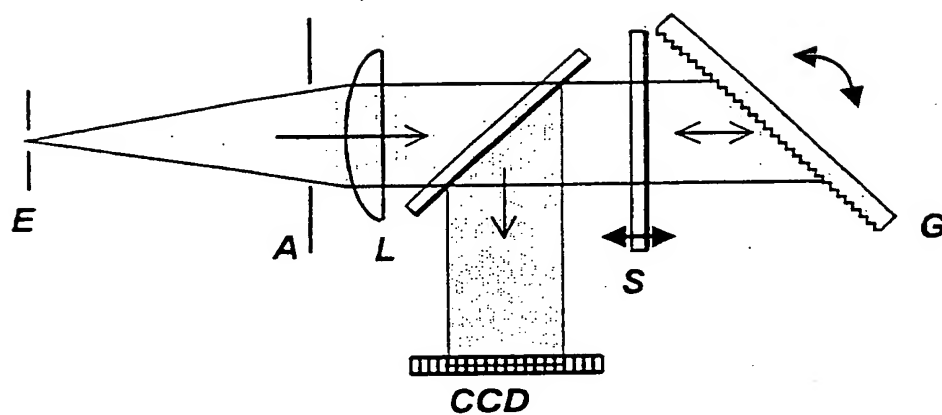


Fig. 8

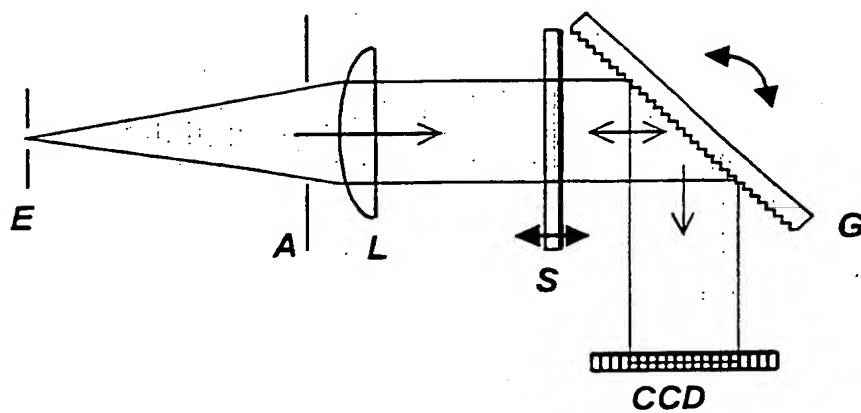


Fig. 9

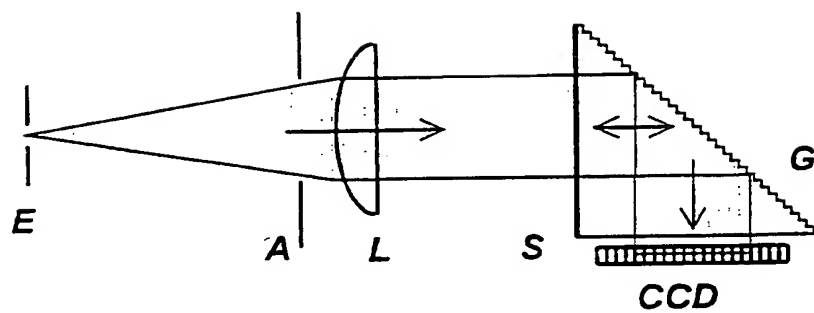


Fig. 10

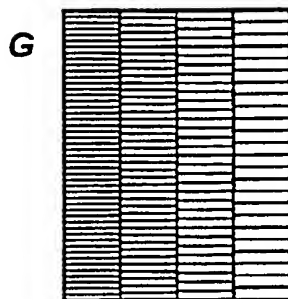
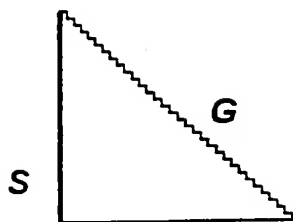


Fig. 11

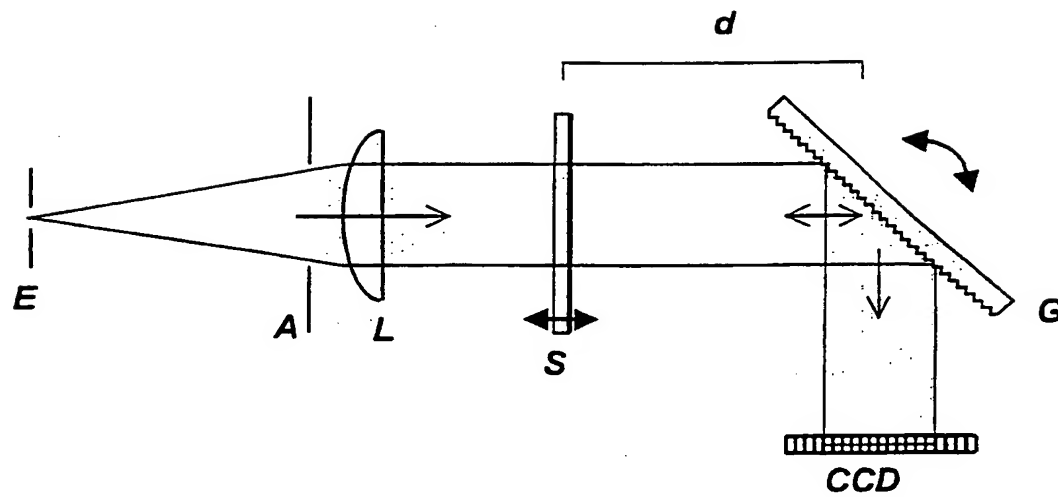




Fig. 12

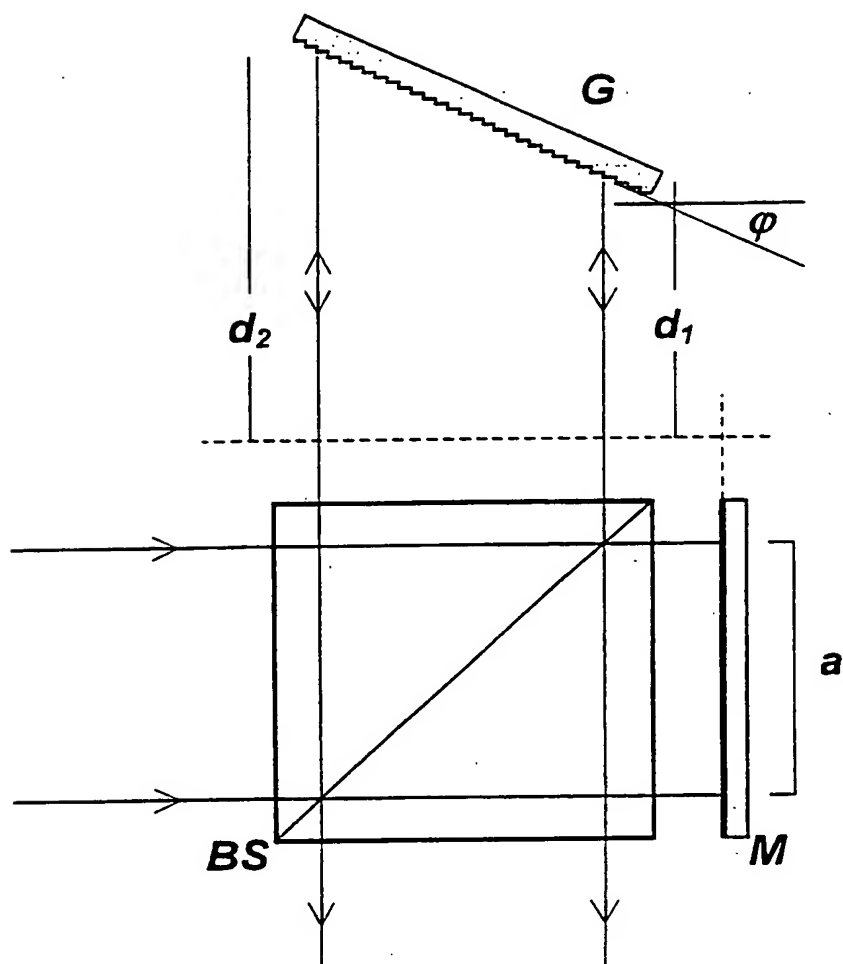


Fig. 13

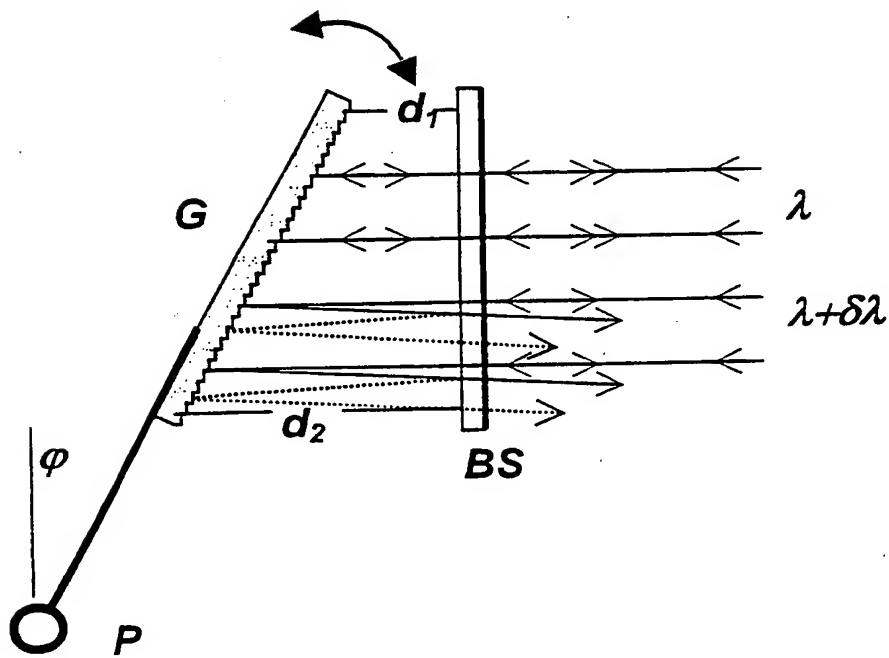


Fig. 14

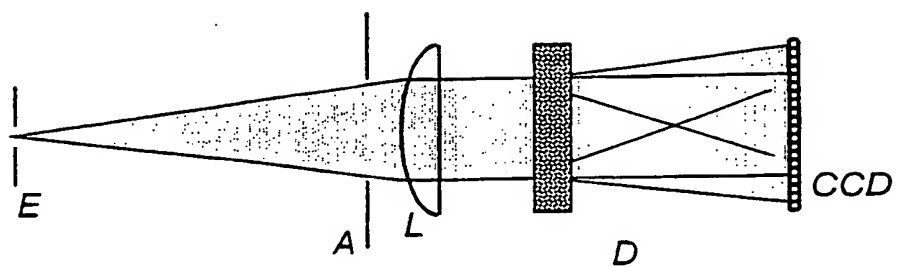


Fig. 15

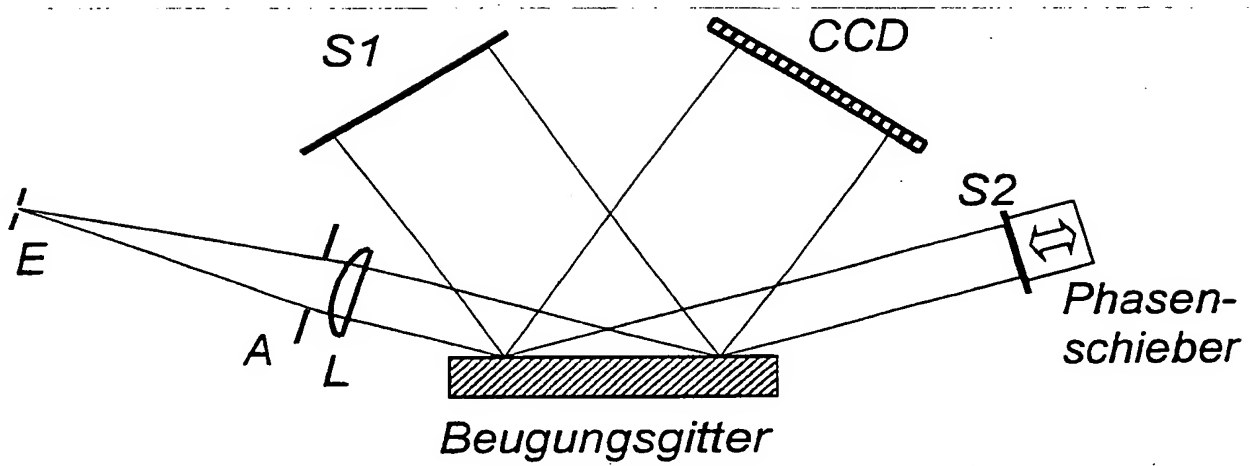


Fig. 16

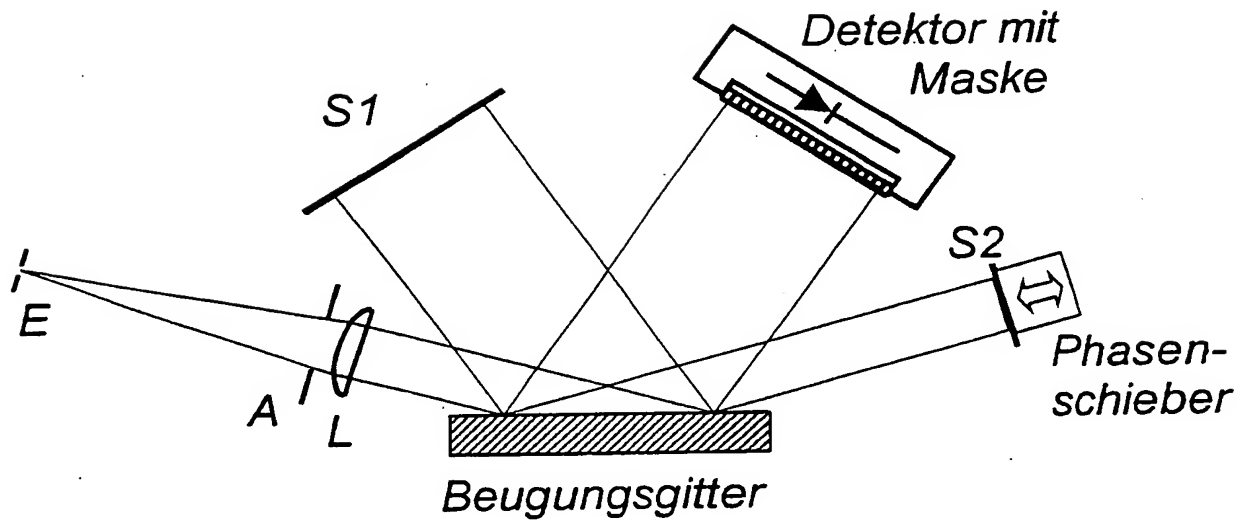


Fig. 17

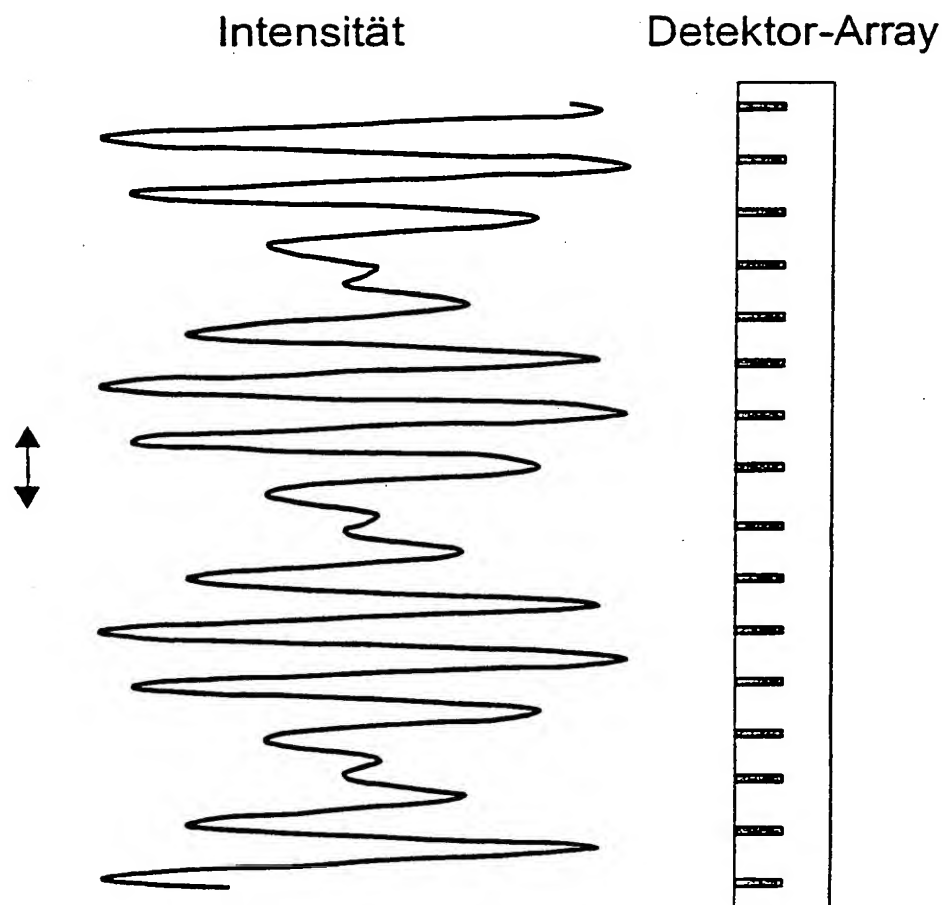
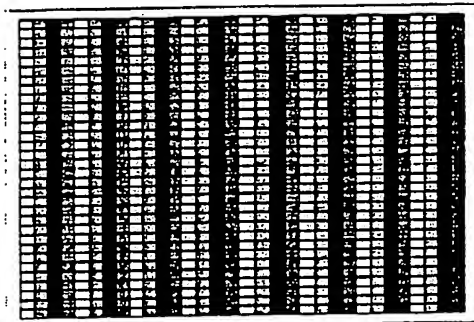
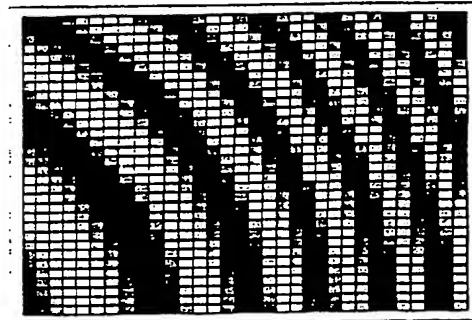


Fig. 18



Ideales Interferogramm



Bsp. für „reales“ Interferogramm

Fig. 19

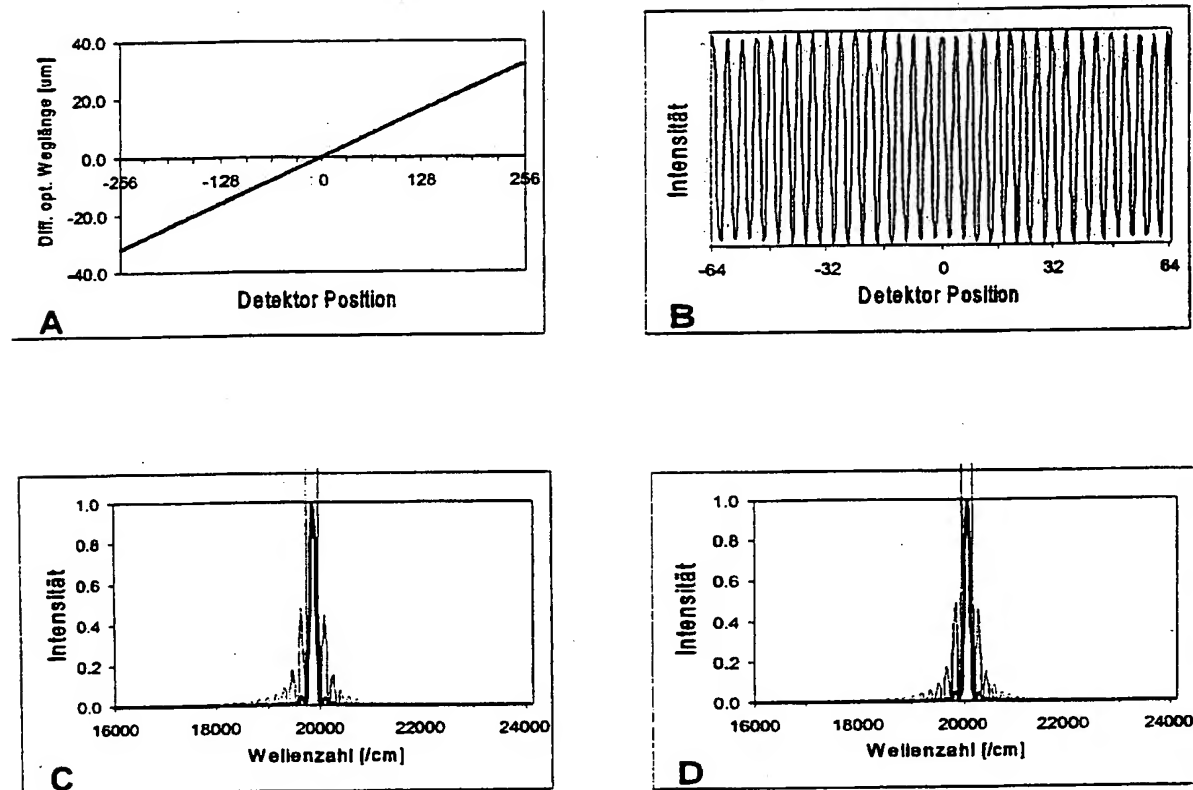




Fig. 20

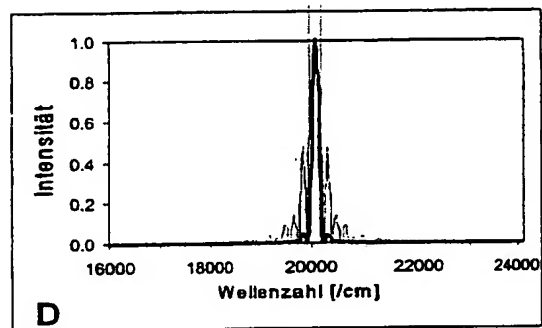
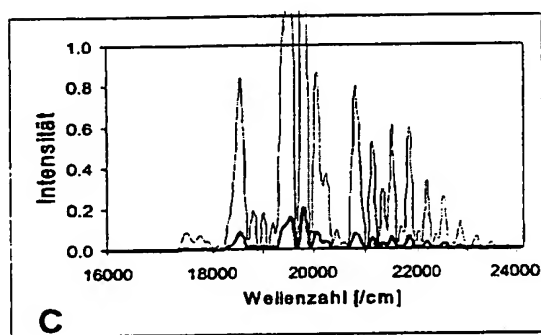
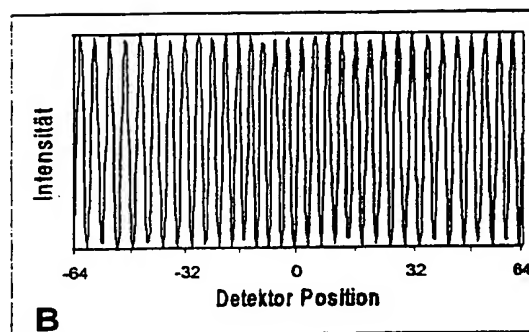
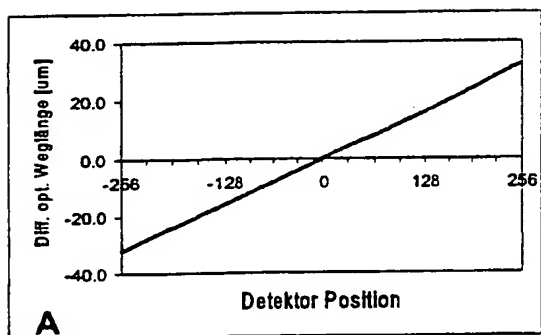
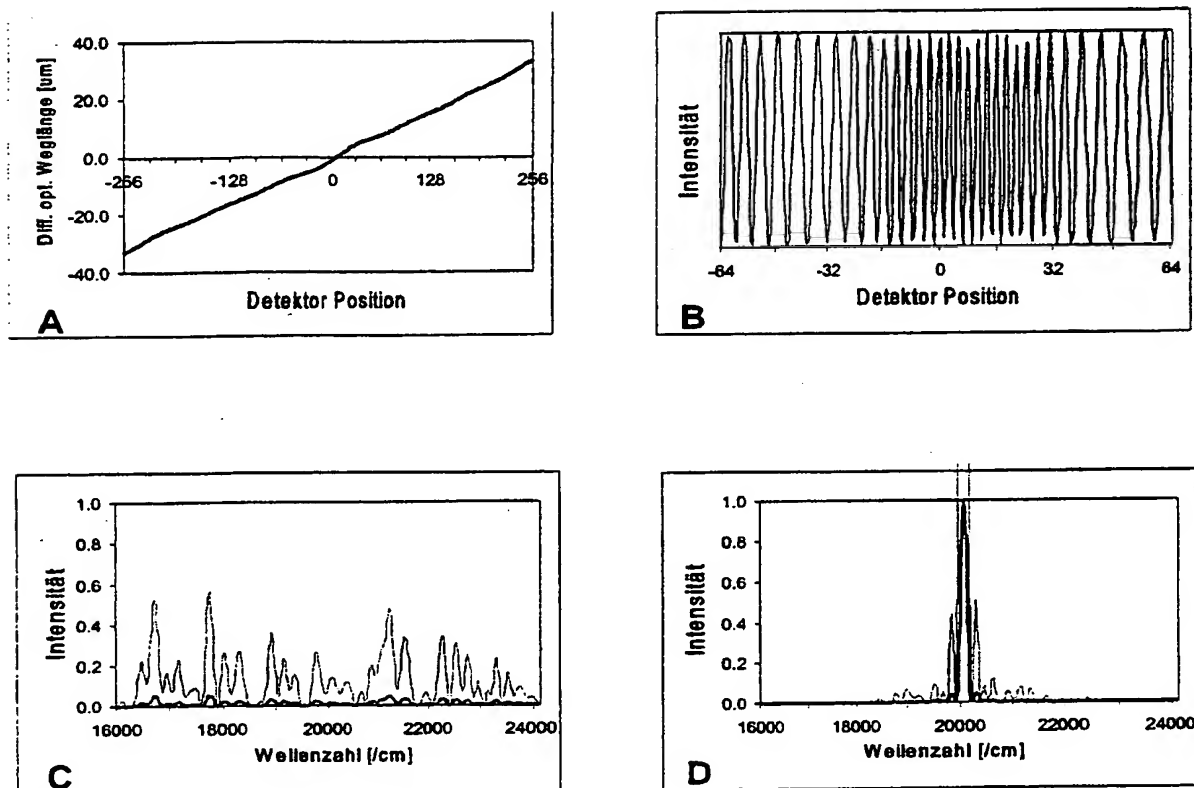


Fig. 21



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inter national Application No

PCT/EP 00/03145

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
 IPC 7 G01J3/453 G01J9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
 IPC 7 G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 059 027 A (HARLANDER JOHN ET AL) 22 October 1991 (1991-10-22)	1,3-8, 12, 20-23, 26,29,30
Y	column 1, line 56 -column 2, line 22	10, 13-18, 24,25, 33,35,36
A	column 3, line 22 -column 4, line 8  column 4, line 27 - line 34 column 5, line 4 - line 39 column 9, line 39 - line 68 figures 1,2,12,13  --- -/--	2,31,32, 34

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 June 2000

Date of mailing of the international search report

30/06/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jacquin, J

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/03145

## G.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 596 (P-1636), 29 October 1993 (1993-10-29) & JP 05 180696 A (NEC CORP), 23 July 1993 (1993-07-23) abstract	1,3-6,8, 9,13,14, 26-29
Y	abstract	33,35,36
Y	EP 0 767 361 A (BUCKWALD ROBERT A ;CABIB DARIO (IL); FRIEDMAN ZVI (IL); C I SYSTEM) 9 April 1997 (1997-04-09)	10,13-18
A	page 5, line 6 - line 25 page 10, line 40 - line 44 page 12, line 9 - line 18 figures 3,4,6,10	11
Y	EP 0 415 143 A (SEL ALCATEL AG ;ALCATEL NV (NL)) 6 March 1991 (1991-03-06)	24,25
A	column 2, line 44 -column 3, line 27 column 3, line 52 -column 4, line 14 figures 1,2	31,32,34
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 247 (P-1365), 5 June 1992 (1992-06-05) & JP 04 055726 A (CANON INC), 24 February 1992 (1992-02-24) abstract	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/03145

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5059027 A	22-10-1991	EP 0422183 A JP 4500128 T WO 9012294 A	17-04-1991 09-01-1992 18-10-1990
JP 05180696 A	23-07-1993	NONE	
EP 0767361 A	09-04-1997	US 5539517 A AT 189927 T DE 69327909 D EP 0957345 A EP 0957346 A US 6066459 A US 5784162 A US 5936731 A US 5817462 A US 5719024 A US 5856871 A US 5991028 A US 5835214 A US 5798262 A US 6018587 A US 6055325 A US 5912165 A US 5906919 A	23-07-1996 15-03-2000 30-03-2000 17-11-1999 17-11-1999 23-05-2000 21-07-1998 10-08-1999 06-10-1998 17-02-1998 05-01-1999 23-11-1999 10-11-1998 25-08-1998 25-01-2000 25-04-2000 15-06-1999 25-05-1999
EP 0415143 A	06-03-1991	DE 3928488 A DE 59007551 D	07-03-1991 01-12-1994
JP 04055726 A	24-02-1992	NONE	

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 90/03145

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 G01J3/453 G01J9/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01J

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 059 027 A (HARLANDER JOHN ET AL) 22. Oktober 1991 (1991-10-22)	1,3-8, 12, 20-23, 26,29,30
Y	Spalte 1, Zeile 56 -Spalte 2, Zeile 22	10, 13-18, 24,25, 33,35,36
A	Spalte 3, Zeile 22 -Spalte 4, Zeile 8  Spalte 4, Zeile 27 - Zeile 34 Spalte 5, Zeile 4 - Zeile 39 Spalte 9, Zeile 39 - Zeile 68 Abbildungen 1,2,12,13  —  -/-	2,31,32, 34

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

23. Juni 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

30/06/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Jacquin, J

**C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 596 (P-1636), 29. Oktober 1993 (1993-10-29) & JP 05 180696 A (NEC CORP), 23. Juli 1993 (1993-07-23)	1,3-6,8, 9,13,14, 26-29
Y	Zusammenfassung	33,35,36
Y	EP 0 767 361 A (BUCKWALD ROBERT A ;CABIB DARIO (IL); FRIEDMAN ZVI (IL); C I SYSTEM) 9. April 1997 (1997-04-09)	10,13-18
A	Seite 5, Zeile 6 - Zeile 25 Seite 10, Zeile 40 - Zeile 44 Seite 12, Zeile 9 - Zeile 18 Abbildungen 3,4,6,10	11
Y	EP 0 415 143 A (SEL ALCATEL AG ;ALCATEL NV (NL)) 6. März 1991 (1991-03-06)	24,25
A	Spalte 2, Zeile 44 -Spalte 3, Zeile 27 Spalte 3, Zeile 52 -Spalte 4, Zeile 14 Abbildungen 1,2	31,32,34
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 247 (P-1365), 5. Juni 1992 (1992-06-05) & JP 04 055726 A (CANON INC), 24. Februar 1992 (1992-02-24) Zusammenfassung	1

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 90/03145

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5059027 A	22-10-1991	EP 0422183 A JP 4500128 T WO 9012294 A	17-04-1991 09-01-1992 18-10-1990
JP 05180696 A	23-07-1993	KEINE	
EP 0767361 A	09-04-1997	US 5539517 A AT 189927 T DE 69327909 D EP 0957345 A EP 0957346 A US 6066459 A US 5784162 A US 5936731 A US 5817462 A US 5719024 A US 5856871 A US 5991028 A US 5835214 A US 5798262 A US 6018587 A US 6055325 A US 5912165 A US 5906919 A	23-07-1996 15-03-2000 30-03-2000 17-11-1999 17-11-1999 23-05-2000 21-07-1998 10-08-1999 06-10-1998 17-02-1998 05-01-1999 23-11-1999 10-11-1998 25-08-1998 25-01-2000 25-04-2000 15-06-1999 25-05-1999
EP 0415143 A	06-03-1991	DE 3928488 A DE 59007551 D	07-03-1991 01-12-1994
JP 04055726 A	24-02-1992	KEINE	